

JAPAN PATENT OFFICE

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: August 30, 2000

Application Number: 261114/2000

The country code and number  
of your priority application,  
to be used for filing abroad  
under the Paris Convention, is JP2000-261114

Applicant(s): NIPPON TELEGRAPH AND  
TELEPHONE CORPORATION

March 27, 2006

Commissioner,  
Japan Patent Office

Makoto NAKAJIMA (Official Seal)

Certificate Issuance No. 2006-3022148

[Document]	Application for Patent	
[Reference Number]	NTTH125824	
[Filing Date]	August 30, 2000	
[Recipient]	Commisioner, Patent Office	
[IPC Number]	H01S 3/10	
[Inventor(s)]		
[Address]	c/o NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	
	3-1 Otemachi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo	
[Name]	Kazushige YONENAGA	
[Inventor(s)]		
[Address]	c/o NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	
	3-1 Otemachi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo	
[Name]	Yutaka MIYAMOTO	
[Inventor(s)]		
[Address]	c/o NIPPON TELEGRAPH and TELEPHONE CORPORATION	
	3-1 Otemachi 2-chome, Chiyoda-ku, Tokyo	
[Name]	Akihiko MATSUURA	
[Applicant]		
[Identification Number]	000004226	
[Name]	NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION	
[Attorney]		
[Identification Number]	100074930	
[Patent Attorney]		
[Name]	Keiichi YAMAMOTO	
[General Fee]		
[Deposition Account Number]	001742	
[Amount]	21000 yen	
[List of Attached Document]		
[Document]	Specification	1
[Document]	Drawings	1
[Document]	Abstract	1
[General Power Number]	9701414	
[Necessity of Proof]	Necessary	

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日  
Date of Application:

2000年 8月30日

出願番号  
Application Number:

特願2000-261114

パリ条約による外国への出願  
に用いる優先権の主張の基礎  
となる出願の国コードと出願  
番号  
country code and number  
of your priority application,  
as used for filing abroad  
under the Paris Convention, is

JP2000-261114

出願人  
Applicant(s):

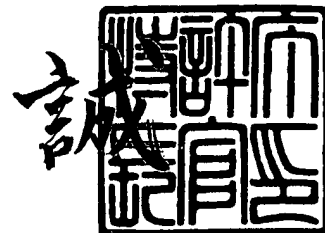
日本電信電話株式会社

CERTIFIED COPY OF  
PRIORITY DOCUMENT

2006年 3月27日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

中嶋



【書類名】 特許願

【整理番号】 NTTH125824

【提出日】 平成12年 8月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/10

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号日本電信電話株式会社内

    【氏名】 米永 一茂

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号日本電信電話株式会社内

    【氏名】 宮本 裕

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号日本電信電話株式会社内

    【氏名】 松浦 暁彦

【特許出願人】

    【識別番号】 000004226

    【氏名又は名称】 日本電信電話株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100074930

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 山本 恵一

【手数料の表示】

    【予納台帳番号】 001742

    【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

    【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9701414

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 光送信機

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 2 値データ電気信号に帯域制限を施す帯域制限手段と、帯域制限された電気信号を光信号に変換する電気／光変換手段と、電気／光変換手段を駆動するために必要な電圧に信号を増幅する増幅手段を備え、

前記帯域制限手段が前記増幅手段と前記電気／光変換手段との間に配置されることを特徴とする光送信機。

【請求項 2】 請求項 1 に記載の光送信機において、

入力された 2 値デジタル信号の入力論理が“0”である場合には出力論理は直前の値を保持し、入力論理が“1”である場合には出力論理は直前の値と異なる値を選択して新たな 2 値デジタル信号を出力する符号変換手段を備え、

前記符号変換手段は前記増幅手段の入力段に設置され、

前記帯域制限手段が 3 値のデュオバイナリ信号を生成する低域通過フィルタであることを特徴とする光送信機。

【請求項 3】 請求項 2 に記載の光送信機において、

前記電気／光変換手段が入力電気信号の最大値と最小値に対して最大強度の光を出力し、入力電圧の中間値に対して最小強度の光を出力し、前記入力電気信号の最大値と最小値に対応する最大強度の光の位相が互いに反転していることを特徴とする光送信機。

【請求項 4】 請求項 3 に記載の光送信機において、

前記電気／光変換手段が両電極駆動のマッハ・ツェンダ型光強度変調器であり、両電極を駆動する電気信号が互いに極性が反転した 3 値のデュオバイナリ信号であることを特徴とする光送信機。

【請求項 5】 請求項 1 に記載の光送信機において、

前記帯域制限手段と前記電気／光変換手段と前記増幅手段のうち少なくとも 2 つが 1 つのモジュールに実装されていることを特徴とする光送信機。

【請求項 6】 請求項 5 に記載の光送信機において、

前記電気／光変換手段の一部が前記帯域制限手段として機能することを特徴と

する光送信機。

【請求項 7】 請求項 6 に記載の光送信機において、

前記電気／光変換手段が進行波型電極を有するマッハ・ツェンダ型光強度変調器であり、前記進行波型電極の損失を利用して、前記マッハ・ツェンダ型光強度変調器から出力される光信号の帯域を制限することを特徴とする光送信機。

【請求項 8】 請求項 6 に記載の光送信機において、

前記電気／光変換手段が進行波型電極を有するマッハ・ツェンダ型光強度変調器であり、前記進行波型電極上を伝搬する変調電磁波とその電界により屈折率が変化する光導波路中を伝搬する光波との間の位相速度の不整合を利用して、前記マッハ・ツェンダ型光強度変調器から出力される光信号の帯域を制限することを特徴とする光送信機。

【請求項 9】 請求項 7 又は 8 に記載の光送信機において、

入力された 2 値デジタル信号の入力論理が“0”である場合には出力論理は直前の値を保持し、入力論理が“1”である場合には出力論理は直前の値と異なる値を選択して新たな 2 値デジタル信号を出力する符号変換手段を備え、

前記符号変換手段は前記増幅手段の入力段に設置され、

前記光導波路中を伝搬する光波の前記変調電磁波による位相変化が 3 値のデュオバイナリ信号の波形をもっているように前記進行波型電極が設計されていることを特徴とする光送信機。

【請求項 10】 請求項 9 に記載の光送信機において、

前記マッハ・ツェンダ型光強度変調器が前記光導波路中を伝搬する 3 値のデュオバイナリ信号の波形をもった光波の位相変化の最大値と最小値に対して最大強度の光を出力し、光波の位相変化の中間値に対して最小強度の光を出力し、前記光波の位相変動の最大値と最小値に対応する最大強度の光の位相が互いに反転していることを特徴とする光送信機。

【請求項 11】 請求項 10 に記載の光送信機において、

前記マッハ・ツェンダ型光強度変調器が両電極駆動のマッハ・ツェンダ型光強度変調器であり、両電極とも帯域制限機能をもつ前記進行波型電極であり、両電極に印加される電気信号が互いに極性が反転した 2 値信号であることを特徴とす

る光送信機。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は伝送路での信号劣化を起こしにくい、帯域制限された高品質な超高速光信号を簡易に生成することができる光送信機に関する。

【0002】

【従来の技術】

光ファイバ伝送システムは、現在、チャネルビットレートの高速化と波長分割多重による大容量化が図られている。一般に、チャネルビットレートが高くなると光ファイバの波長分散の影響が顕著になり、チャネルビットレートの2乗に反比例して伝送可能距離が短くなる。

【0003】

波長によって群速度が異なる波長分散の影響を低減する手段としては、K.Yonegana and S.Kuwano, IEEE J.Lightwave Technol., Vol.15, No.18, 1997に示されている光デュオバイナリ伝送方式などの帯域制限符号を用いる方式が有効である。光デュオバイナリ送信機の構成例を図21に示す。伝送される2値データ信号は、まず論理反転されプリコードと呼ばれる回路で符号変換が行われる。プリコードは例えば図21に示すように排他的論理和回路と1ビット遅延回路で構成され、入力論理“0”に対しては出力論理を“保持”し、入力論理“1”に対しては出力論理を“反転”するように動作する。プリコードの出力は、差動分配回路により互いに極性の反転した2つの2値ノンリターンツーゼロ(以下「NRZ」という)信号に分配される。この2つの2値NRZ信号は、信号クロック周波数の1/4程度の3dB遮断周波数をもつ低域通過フィルタにより3値のデュオバイナリ信号に変換される。このような機能をもつフィルタは一般にデュオバイナリフィルタと呼ばれる。電気/光信号変換には、ニオブ酸リチウム(LiNbO<sub>3</sub>)などの電気光学結晶で構成された両電極駆動のマッハ・ツェンダ(以下「MZ」という)型光変調器を用いる。デュオバイナリフィルタにより生成された2つの3値のデュオバイナリ信号はともに、MZ型変調器の半波長電圧程度まで増幅されて、それぞれMZ



型変調器の2つの電極に印加される。

#### 【0004】

MZ型変調器の動作を図22に示す。MZ型変調器は2つの電極に印加する電圧の差により、図22のMZ変調器の透過率特性に示すように正弦波状に透過率が変化する。このとき2つの電極を相補的に駆動することにより出力される光信号のチャープを原理的にゼロにすることができる。この性質により、図22のように直流バイアス電圧を透過率が最小となる点に設定すると、信号電圧がバイアス点を横切る瞬間に光位相が反転し、2値の強度波形をもつ光デュオバイナリ信号が生成できる。光デュオバイナリ信号は図22に光変調信号として示すように2値の強度変調信号であるが、光の位相を含めると3値のデュオバイナリ信号になっており、信号帯域としてはデュオバイナリ信号と同等である。この性質により光デュオバイナリ信号は、デュオバイナリ信号の狭帯域性と2値強度検出による復調が可能であるという、2値強度変調と3値デュオバイナリ信号の長所を合わせもつ。

#### 【0005】

図23に受信系と伝送路を含む光デュオバイナリ伝送システム全体の構成例を示す。図中に示す「光デュオバイナリ送信機」は例えば図21に示すような構成である。受信機では、2値強度変調信号の検波と同様に光の強度のみを検出することにより信号を復調できる。

#### 【0006】

図24に40Gbit/s光デュオバイナリ信号と40Gbit/s2値NRZ強度変調信号に対して実測した波長分散とパワーペナルティの関係を示す。横軸は波長分散値、縦軸は符号誤り率 $10^{-9}$ におけるパワーペナルティである。1dB以下のペナルティを満足する波長分散値の幅を分散トレランスと定義すると、光デュオバイナリ信号の分散トレランスは2値NRZ信号より2倍以上大きいことが分かる。このように光デュオバイナリ信号は、波長分散の影響が顕著に出るような超高速信号伝送において波長分散制限を大幅に緩和するという利点を有する。

#### 【0007】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、光デュオバイナリ伝送方式は、通常の 2 値 NRZ 強度変調方式に比べて送信機に高機能な信号処理回路を必要とする。特に、デュオバイナリフィルタにより生成された 3 値のデュオバイナリ信号で光変調器を駆動するためには、この 3 値信号の電圧振幅を光変調器を駆動できる大きさまで増幅回路で増幅しなければならない。通常、光変調器を駆動するために必要な電圧振幅は、高速デジタル集積回路を駆動するために必要な電圧振幅の数倍である。従って、変調器ドライバ用増幅回路は出力電圧の飽和が始まる高出力領域で使用することが多い。2 値 NRZ 強度変調方式の場合、飽和が始まる高出力領域で変調器ドライバ用増幅回路を動作させたとしてもアイパターンの開口劣化はほとんどないか、むしろ波形の立ち上がり立ち下がり時間が短縮されて波形が整形される傾向にある。しかし、3 値デュオバイナリ信号は波形そのものを保持することが重要であり、その増幅には利得特性に関して高い線形性が要求される。従って、通常 2 値 NRZ 強度変調方式で使用されているような変調器ドライバ用増幅回路を 3 値デュオバイナリ信号増幅に適用すると、僅かな波形の乱れが強調されて深刻な符号間干渉を引き起す。さらにデュオバイナリフィルタと増幅回路の間、あるいは増幅回路と光変調器の間の反射によっても符号間干渉が増大する可能性がある。図 2 5 に従来の光デュオバイナリ送信機で生成した、増幅後の 4 0 Gbit/s デュオバイナリ信号波形とそれにより変調された 4 0 Gbit/s 光デュオバイナリ信号の強度波形を示す。変調器駆動波形では上下のアイ開口に不均衡が見られる。また、変調後の光強度波形では、アイ開口は確保できているものの符号間干渉により波形が劣化しているのが分かる。このような符号間干渉は、光デュオバイナリ信号の受信感度の劣化や分散トレランスの縮小を招き、伝送可能距離の著しく制限する要因となる。

#### 【0 0 0 8】

そこで、本発明は、より理想に近い、帯域制限された光信号を容易に生成することができ、光通信システムの長距離化・大容量化・低コスト化に寄与する光送信機を提供することを目的とする。

#### 【0 0 0 9】

##### 【課題を解決するための手段】

従って、本発明による光送信機は、2 値データ電気信号に帯域制限を施す帯域

制限手段と、帯域制限された電気信号を光信号に変換する電気／光変換手段と、電気／光変換手段を駆動するために必要な電圧に信号を増幅する増幅手段を備え、帯域制限手段が増幅手段と電気／光変換手段との間に配置される。

#### 【0010】

本発明の光送信機では、低域通過フィルタなどの波形整形回路を変調器ドライバ用増幅回路と光変調器の間に配置することにより、変調器ドライバ用増幅回路は2値NRZ信号を増幅すればよくなるため利得飽和領域で動作させることによる深刻な符号間干渉を避けることができる。さらに、低域通過フィルタなどの波形整形回路を変調器ドライバ用増幅回路または光変調器の一部として組み込むことにより、送信機をコンパクトにできるばかりでなく、増幅回路とフィルタの間またはフィルタと光変調器の間の有害な反射を低減することができるため、簡易に高機能な光送信機を実現できる。

#### 【0011】

##### 【発明の実施の形態】

図1は本発明の光送信機の第1の実施例を示す。本実施例では、光送信機は2値信号増幅手段と帯域制限手段と電気／光変換手段により構成され、帯域制限手段が2値信号増幅手段と電気／光変換手段の間に配置されている。もちろん実際の光送信機には図1に示す構成品以外にも光送信機としての機能を実現するために必要な部品が含まれていることは言うまでもない。帯域制限手段による電気信号の帯域制限は、結果的に光変調信号の帯域を制限することであり、波長分散の影響を緩和して伝送特性を向上させることや高密度波長多重を可能にして帯域利用効率を向上させることに寄与する。電気／光変換手段は、半導体レーザ等の光源の直接変調によるものでも構わないし、連続発振光源と外部変調器の組み合わせでも構わない。外部変調器としては、半導体を用いた電界吸収型変調器やLiNbO<sub>3</sub>等の電気光学結晶を用いたMZ型変調器等、いかなるタイプの光変調器でも構わない。

#### 【0012】

光信号のスペクトルは帯域制限手段により設計されるが、2値信号増幅手段に入力する信号波形及び2値信号増幅手段と電気／光変換手段の応答特性に依存す

るため、帯域制限手段の応答特性はこれらの要素を考慮して設計される。符号間干渉を避けながら信号帯域を抑圧するには、光送信機から出力される光信号をナイキストのゼロ符号間干渉の基準に近づければよい。図2にナイキストの第1基準を満足する理想的な信号スペクトルの一例を示す。 $f_0$ は信号のクロック周波数を示し、ビットレートが40Gbit/sならば $f_0 = 40$ GHzである。振幅スペクトルは周波数 $f_0/2$ で直流成分の半分まで落ち、さらに $f_0$ 付近でゼロとなっている。ナイキストの第1基準を満足する信号スペクトルの最大周波数は、スペクトルの形状により $f_0/2$ から $f_0$ まで幅がある。しかし、ナイキストの第1基準において実際に信号スペクトルの最大周波数を $f_0/2$ 付近まで圧縮することは極めて困難であるため、一般には実際の低域通過フィルタで近似的に実現するために図2に示すように信号スペクトルの最大周波数を $f_0$ 程度まで許容する。このように低域通過フィルタで波形整形された信号は、少なくとも光信号に変換されて伝送路に送出されるまで波形そのものを保持することが重要であるため、本発明では、符号間干渉を起こしやすい信号増幅手段を低域通過フィルタの前に配置し、低域通過フィルタの出力で電気／光変換手段を直接駆動することによって良好な光信号波形を実現できる。

### 【0013】

さらに、信号帯域を圧縮するためには、ナイキストの第2基準を満足するデュオバイナリ符号などの帯域圧縮符号を用いる方式が有効である。デュオバイナリ符号を用いた光送信機の構成を、本発明の第2の実施例として図3に示す。本実施例では、帯域制限手段はデュオバイナリフィルタと呼ばれる3dB遮断周波数が $f_0/4$ 程度の低域通過フィルタである。図4に理想的なデュオバイナリ信号スペクトルを示す。デュオバイナリ信号スペクトルは最大周波数が $f_0/2$ であるが、比較的緩やかに遮断することができるため、実際のフィルタで近似的に実現可能である。しかし、デュオバイナリフィルタは2値信号を3値信号に変換する符号変換を伴うため、本実施例では第1の実施例と異なり、2値信号増幅手段の前に論理反転回路とプリコードを必要とする。論理反転回路とプリコードを装備することで、デュオバイナリフィルタから出力される3値信号は、ハイレベルとローレベルが論理“1”に対応し、中間レベルが論理“0”に対応するようになる。

従って、受信機では中間レベルかそうでないかを判定すれば信号を正しく復調できるということになる。デュオバイナリフィルタで波形整形された信号は、少なくとも光信号に変換されて伝送路に送出されるまで波形そのものを保持することが重要であるため、本発明では、符号間干渉を起こしやすい信号増幅手段をデュオバイナリフィルタの前に配置し、デュオバイナリフィルタの出力で電気／光変換手段を直接駆動することによって良好な光信号波形を実現できる。

#### 【0014】

デュオバイナリ符号と同等の帯域圧縮を実現する手段として、ナイキストの第3基準を満足する変形デュオバイナリ符号がある。変形デュオバイナリ符号を用いた光送信機の構成を、本発明の第3の実施例として図5に示す。本実施例では、帯域制限手段は変形デュオバイナリフィルタと呼ばれる帯域通過フィルタである。図6に理想的な変形デュオバイナリ信号スペクトルを示す。理想的な変形デュオバイナリ信号スペクトルの最大周波数はデュオバイナリ信号スペクトルと同じであるが、変形デュオバイナリ信号ではさらに直流成分が抑圧されており、低域遮断に強いという特長をもつ。変形デュオバイナリ信号は、デュオバイナリ信号と同様に3値信号であるが、図5に示すようにデュオバイナリ信号とは異なるプリコーダを必要とする。しかし、プリコーダを装備することで、変形デュオバイナリフィルタから出力される3値信号は、ハイレベルとローレベルが論理“1”に対応し、中間レベルが論理“0”に対応するようになる。従って、受信機では中間レベルかそうでないかを判定すれば信号を正しく復調できるということになる。変形デュオバイナリフィルタで波形整形された信号は、少なくとも光信号に変換されて伝送路に送出されるまで波形そのものを保持することが重要であるため、本発明では、符号間干渉を起こしやすい信号増幅手段を変形デュオバイナリフィルタの前に配置し、変形デュオバイナリフィルタの出力で電気／光変換手段を直接駆動することによって良好な光信号波形を実現できる。

#### 【0015】

図7に本発明の光送信機の第4の実施例を示す。本実施例は、3値のデュオバイナリ信号を光の強度と位相に対応させて変調する光送信機構成を具体化したものであり、論理動作は図21に示した従来の光デュオバイナリ送信機と同じであ

る。異なるのは、デュオバイナリフィルタが増幅回路とMZ型光変調器の間に配置されている点である。これにより本実施例では、従来の光デュオバイナリ送信機より符号間干渉の少ない光信号を生成できる。図8に本実施例における40Gbit/s変調器駆動信号と40Gbit/s光変調信号の実測波形を示す。図25に示す、従来例の40Gbit/s変調器駆動信号と40Gbit/s光変調信号の波形と比較すると、明らかに本実施例の波形は符号間干渉が少なく、大きなアイ開口が得られていることが分かる。図9に本実施例の光送信機を用いて実測した40Gbit/s光デュオバイナリ信号の分散トレランス特性を示す。1dB以下のパワーペナルティを満たす分散トレランスは380ps/nmである。これは数値計算から予測される値とはほぼ一致しており、本実施例の光送信機はほぼ理想的な光デュオバイナリ信号を実現していると言える。一方、従来例の光送信機を用いた40Gbit/s光デュオバイナリ信号の分散トレランスは図24に示すように、200ps/nmであり、分散トレランスに関しても本発明の光送信機の優位性は明らかである。

#### 【0016】

図10に本発明の光送信機の第5の実施例を示す。本実施例は、2値信号増幅手段と帯域制限手段の間のコネクタ接続を排除して、両手段を1つのモジュール内に実装したものである。本実施例では、送信機内部に実装されるモジュールの点数を減らすことができるばかりでなく、2値信号増幅手段と帯域制限手段の間で起こる反射の影響を低減し、符号間干渉の少ない信号を生成することができる。

#### 【0017】

図11に本発明の光送信機の第6の実施例を示す。本実施例は、帯域制限手段と電気／光変換手段の間のコネクタ接続を排除して、両手段を1つのモジュール内に実装したものである。本実施例では第5の実施例と同様に、送信機内部に実装されるモジュールの点数を減らすことができるばかりでなく、帯域制限手段と電気／光変換手段の間で起こる反射の影響を低減し、符号間干渉の少ない信号を生成することができる。さらに、2値信号増幅手段も同一モジュールに実装することにより、よりコンパクトで安定な光送信機を実現することができる。

#### 【0018】

図 12 に本発明の光送信機の第 7 の実施例を示す。本実施例は、第 6 の実施例の帯域制限及び電気／光変換手段を Z カットのニオブ酸リチウム MZ 型光変調器を用いて実現したものである。ニオブ酸リチウム MZ 型光変調器では通常高速化のために、電極長の短縮、進行波型電極の採用、電極形状の工夫などを行う。しかし、本実施例では、電極長や電極形状を必ずしも高速化に向けて設計されるのではなく、電極の損失特性や変調電磁波と被変調光波の位相不整合特性を利用して所望の帯域制限特性を満たすように設計される。図 13 に位相不整合によって変調効率が低下する様子を示す。変調効率減少係数  $r$  は、位相不整合係数  $\Delta \phi$  の増加とともに振動しながら減少していくことが分かる。位相不整合係数  $\Delta \phi$  は、変調電磁波角周波数  $\omega_m$  に比例するため、変調電磁波の周波数の増加とともに変調効率は低下する。位相不整合係数  $\Delta \phi$  は、変調電磁波と被変調光波の相互作用時間  $\tau_d$  と変調電磁波の位相速度  $c_m$  の関数でもあるため、変調効率減少係数  $r$  の変調周波数特性は  $\tau_d$  と  $c_m$  とにより設計できる。

#### 【0019】

図 14 に本発明の光送信機の第 8 の実施例を示す。本実施例は、Z カットの両電極駆動ニオブ酸リチウム MZ 型光変調器の両電極をデュオバイナリフィルタとして利用した光デュオバイナリ送信機の構成例である。MZ 型光変調器の両電極には、互いに極性の反転したプリコーディング済みの 2 値 NRZ 信号が入力される。両電極は、デュオバイナリフィルタとして動作させるために信号クロック周波数の  $1/4$  程度で 3 dB 遮断するように設計される。このとき両電極で変調される光波の位相変化は 3 値デュオバイナリ信号の波形をもち、MZ 型光変調器は、光波の位相変化の最大値と最小値に対して最大強度の光を出力し、光波の位相変化の中間値に対して最小強度の光を出力し、光波の位相変動の最大値と最小値に対応する最大強度の光の位相が互いに反転している光デュオバイナリ信号を送出する。

#### 【0020】

図 15 に本発明の光送信機の第 9 の実施例を示す。本実施例では、電極上を伝搬する変調電磁波とニオブ酸リチウム結晶内に形成された光導波路中を伝搬する光波の進行方向を逆にすることにより位相不整合状態を作り、電極での帯域制限特性を実現している。これは、図 13 に示した位相不整合係数  $\Delta \phi$  の定義式にお

ける結晶中の光速  $c/n$  と変調電磁波速度  $c_m$  の符号が逆であることを意味するため、 $(1 - c/n c_m)$  が 1 以上になり位相不整合係数  $\Delta \phi$  を大きくすることができる。

### 【0021】

第 9 の実施例の効果を確認するため、10 GHz の帯域をもつニオブ酸リチウム MZ 型光変調器を用いて変調電磁波と被変調光波を反対向きに伝搬させて出力される光信号の強度波形を観測した。位相不整合による帯域制限によって 2 値 NRZ 信号が 3 値のデュオバイナリ信号に変換されるのを観測するために、光の強度が 3 値デュオバイナリ信号に見えるように変調信号の振幅とバイアス電圧を設定した。図 16 に観測した 3 値デュオバイナリ信号のアイパターンを示す。ビットレートは 3.3 Gbit/s である。この結果により、変調電磁波と被変調光波の位相不整合によって変調帯域が制限され、2 値 NRZ 信号が 3 値デュオバイナリ信号に変換されているのが視覚的に理解できる。図 16 に状態からバイアス電圧のみ変化させて位相反転型の光デュオバイナリ信号を生成し、その強度波形を観測したものが図 17 である。2 値信号としてアイ開口が得られていることが分かる。図 17 では原理確認のための光強度波形観測を目的としているため、変調器駆動電圧は光デュオバイナリ変調に本来必要とする駆動電圧の約半分である。これにより、発光側 (ハイレベル) の符号間干渉が大きく出ているが、光変調器を本来の電圧で駆動することにより抑圧できると考えている。

### 【0022】

図 18 に本発明の光送信機の第 10 の実施例を示す。本実施例では、Z カットではなく X カットのニオブ酸リチウム MZ 型光変調器を使用する。ニオブ酸リチウムは一軸性結晶であり、Z 軸方向に電界を印加したときが最も変調効率が高いため、一般に電気光学変調器には Z カットのものが用いられる。Z カットのニオブ酸リチウム光変調器の断面図を図 19 に示す。Z カットのニオブ酸リチウム光変調器では、電界は光導波中で基板に対して垂直方向に加えられ、光デュオバイナリ変調のようにチャープのない変調を行うためには 2 つの電極を相補的に駆動しなければならない。本実施例で用いる X カットのニオブ酸リチウム光変調器の断面図を図 20 に示す。X カットのニオブ酸リチウム光変調器では、電界は光導波



路中で基板に対して水平方向に加えられる。従って、信号電極をMZ変調器の2つの導波路の中心に配置し、グランド電極を基板の両端に配置する対称な構成をとることにより、2つの導波路には必ず逆向きの電界が印加されていることになるため、単電極駆動で原理的にチャープをゼロにできる。本実施例ではこの電極に帯域制限機能をもたせることにより、簡易な構成で光デュオバイナリ信号を生成できる。

### 【0023】

#### 【発明の効果】

本発明の光送信機では、低域通過フィルタなどの波形整形回路を変調器ドライバ用増幅回路と光変調器の間に配置することにより、変調器ドライバ用増幅回路は2値NRZ信号を増幅すればよくなるため利得飽和領域で動作させることによる深刻な符号間干渉を避けることができる。さらに、低域通過フィルタなどの波形整形回路を変調器ドライバ用増幅回路または光変調器の一部として組み込むことにより、送信機をコンパクトにできるばかりでなく、増幅回路とフィルタの間またはフィルタと光変調器の間の有害な反射を低減することができる。従って、より理想に近い、帯域制限された光信号を容易に生成することができ、光通信システムの長距離化・大容量化・低コスト化に寄与する。

#### 【図面の簡単な説明】

##### 【図1】

本発明の光送信機の第1の実施例の構成図である。

##### 【図2】

本発明の第1の実施例で生成される光信号のスペクトルの一例を示す図である。

##### 【図3】

本発明の光送信機の第2の実施例の構成図である。

##### 【図4】

本発明の第2の実施例で生成される光信号のスペクトルの一例を示す図である。

##### 【図5】

本発明の光送信機の第 3 の実施例の構成図である。

【図 6】

本発明の第 3 の実施例で生成される光信号のスペクトルの一例を示す図である。

【図 7】

本発明の光送信機の第 4 の実施例の構成図である。

【図 8】

本発明の第 4 の実施例で生成された 4 0 Gbit/s 信号波形を示す図である。

【図 9】

本発明の第 4 の実施例で生成された 4 0 Gbit/s 信号の分散トレランス特性を示す図である。

【図 1 0】

本発明の光送信機の第 5 の実施例の構成図である。

【図 1 1】

本発明の光送信機の第 6 の実施例の構成図である。

【図 1 2】

本発明の光送信機の第 7 の実施例の構成図である。

【図 1 3】

電気光学変調器において位相不整合により変調効率が低下する様子を示す図である。

【図 1 4】

本発明の光送信機の第 8 の実施例の構成図である。

【図 1 5】

本発明の光送信機の第 9 の実施例の構成図である。

【図 1 6】

本発明の第 9 の実施例で生成された 3 値強度光デュオバイナリ信号の強度波形を示す図である。

【図 1 7】

本発明の第 9 の実施例で生成された位相反転型光デュオバイナリ信号の 2 値強

度波形を示す図である。

【図 1 8】

本発明の光送信機の第 1 0 の実施例の構成図である。

【図 1 9】

Z カットニオブ酸リチウム MZ 型光変調器の断面図である。

【図 2 0】

X カットニオブ酸リチウム MZ 型光変調器の断面図である。

【図 2 1】

従来の光デュオバイナリ送信機の構成図である。

【図 2 2】

光デュオバイナリ送信機における MZ 変調器の動作図である。

【図 2 3】

光デュオバイナリ伝送システムの構成図である。

【図 2 4】

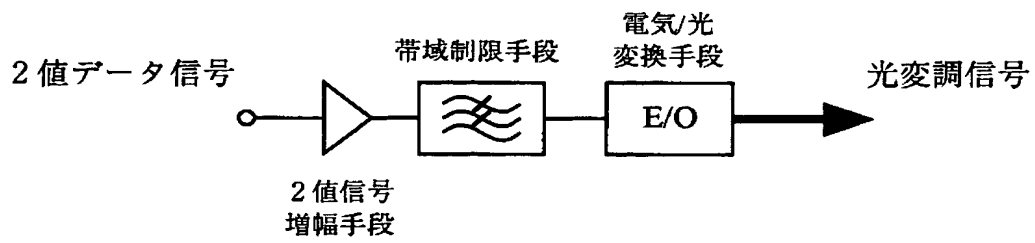
従来の光送信機で生成された 4 0 Gbit/s 信号の分散トレランス特性を示す図である。

【図 2 5】

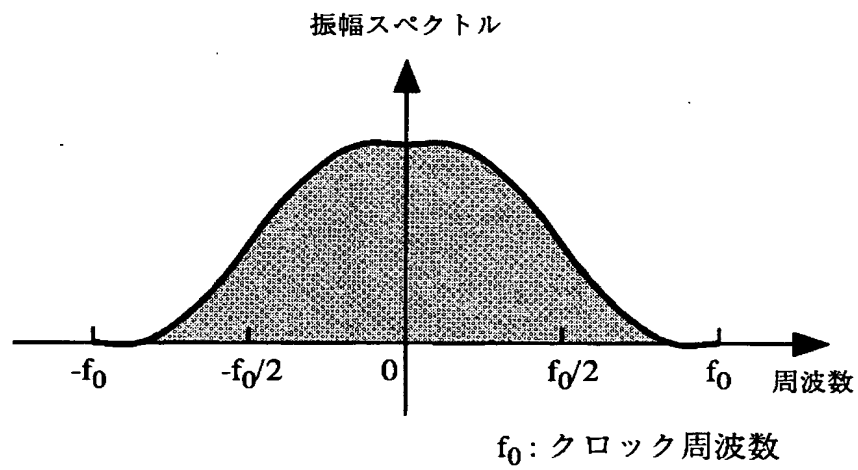
従来の光送信機で生成された 4 0 Gbit/s 信号波形を示す図である。

【書類名】 図面

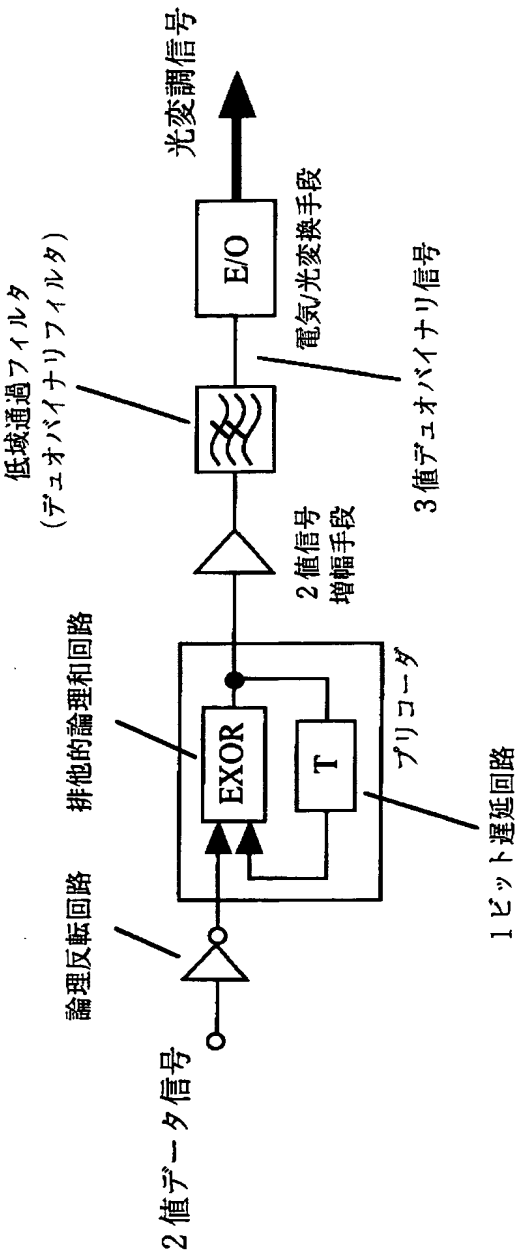
【図 1】



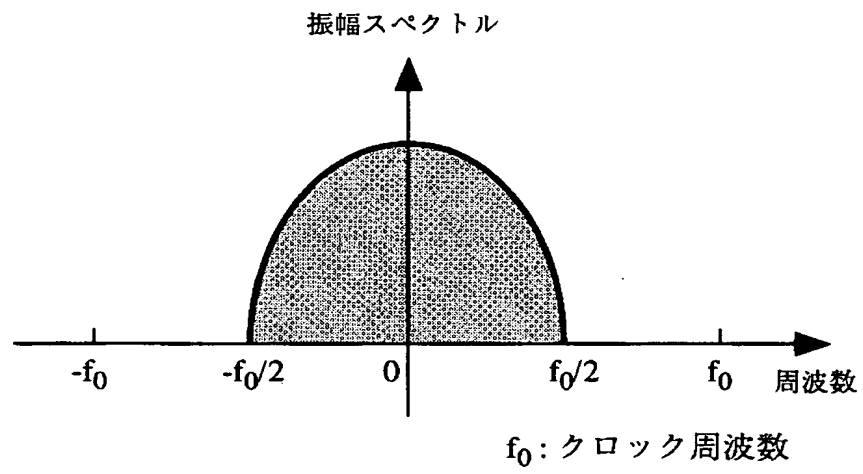
【図 2】



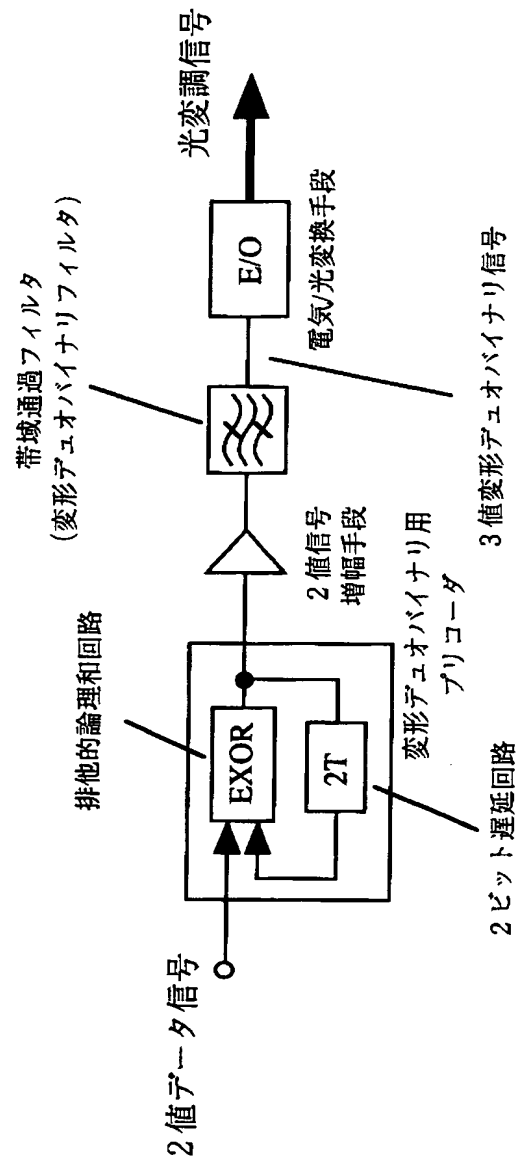
【図 3】



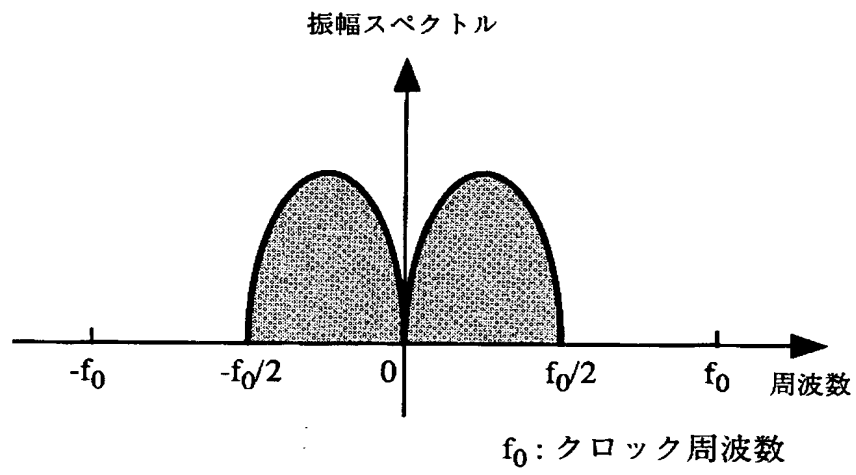
【図 4】



【図5】

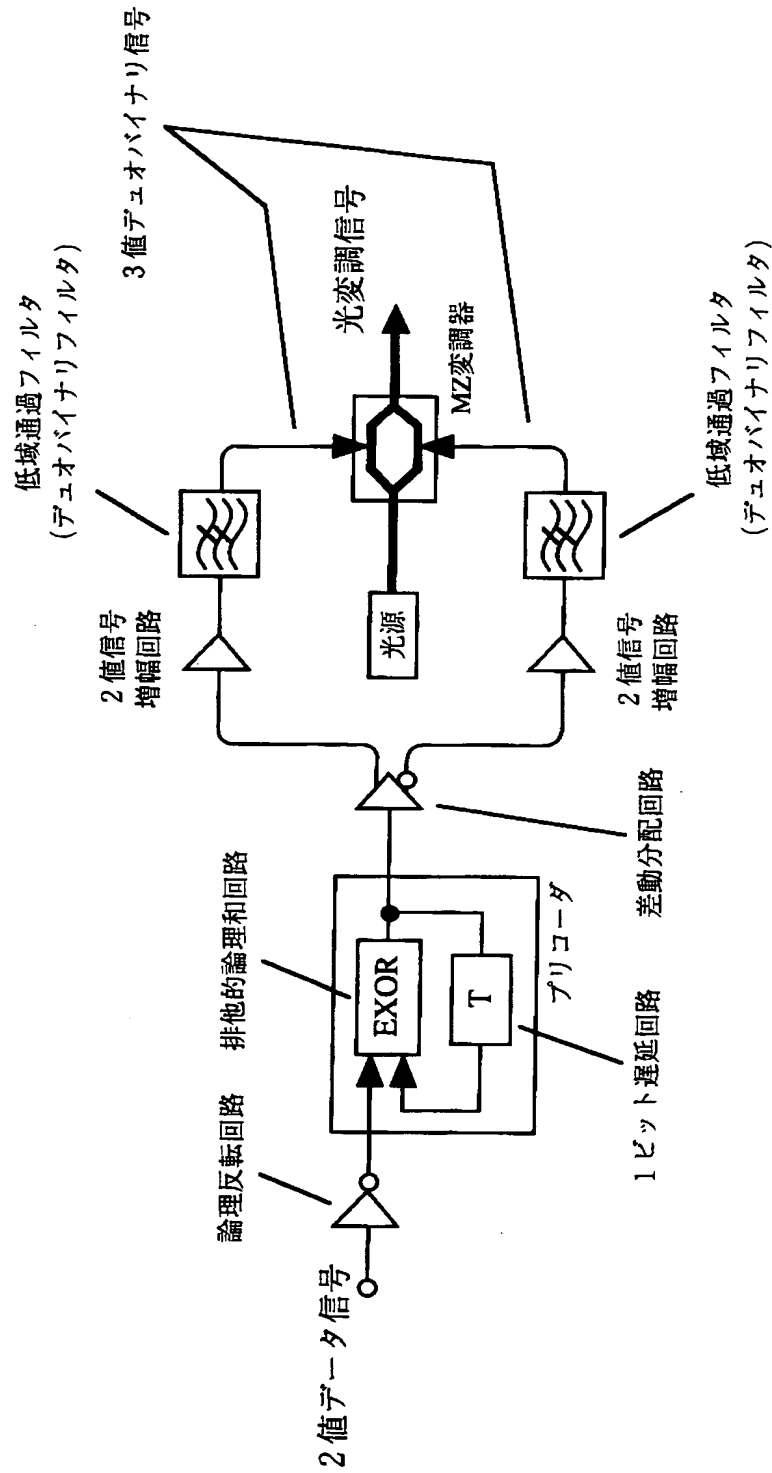


【図 6】

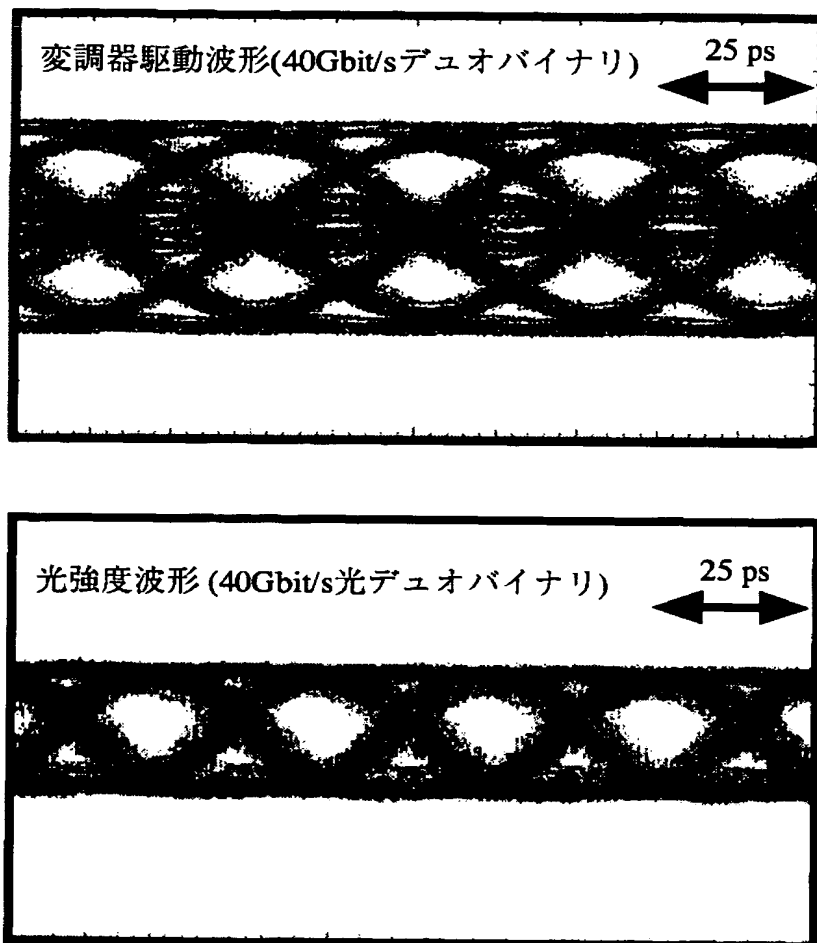




【図7】

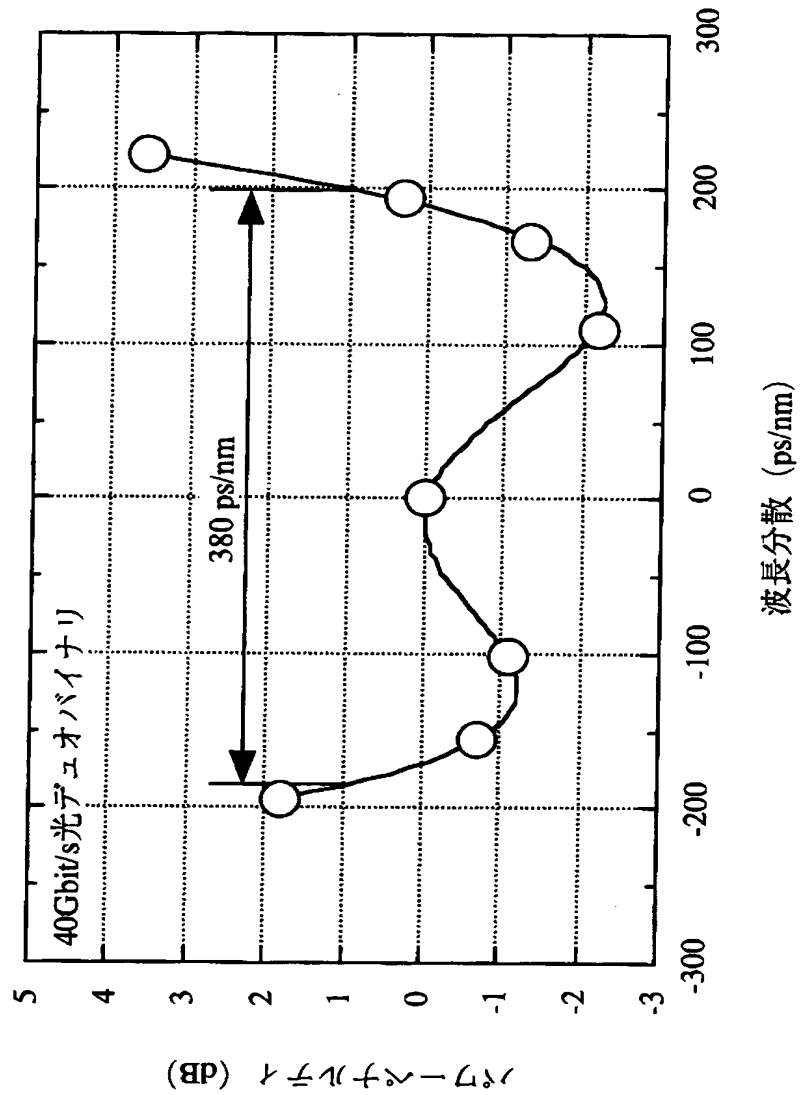


【図 8】

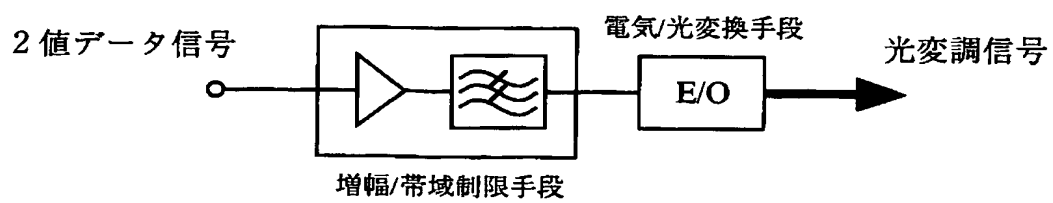


BEST AVAILABLE COPY

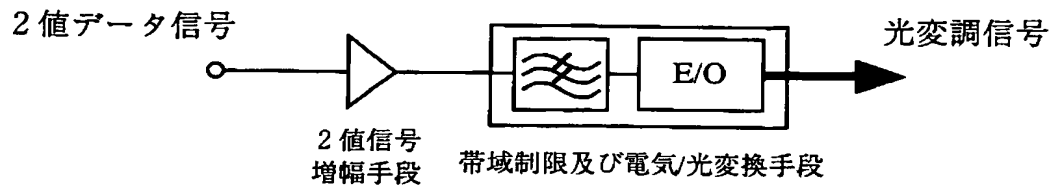
【図 9】



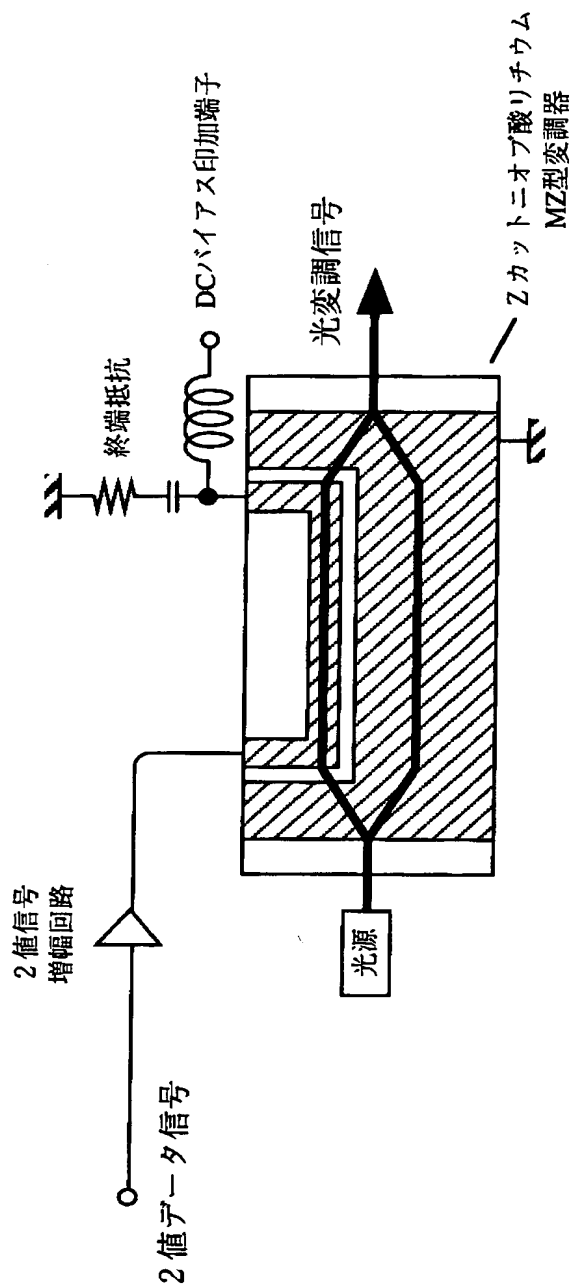
【図 10】



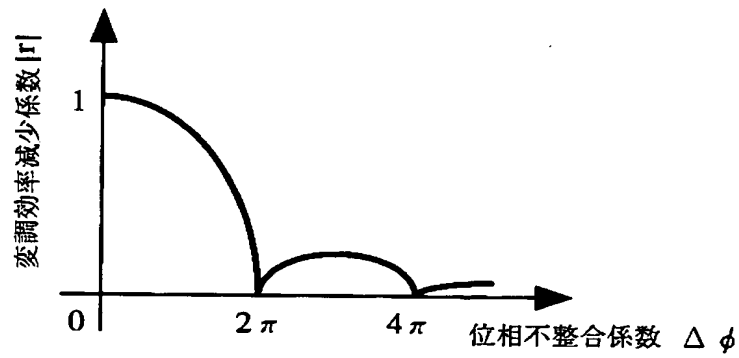
【図 11】



【図 12】



【図 1 3】



$$r = \frac{\exp\{j\omega_m \tau_d(1-c/nc_m)-1\}}{j\omega_m \tau_d(1-c/nc_m)}$$

$$\Delta \phi = \omega_m \tau_d(1-c/nc_m)$$

$\omega_m$  : 変調電磁波の角周波数 (rad/s)

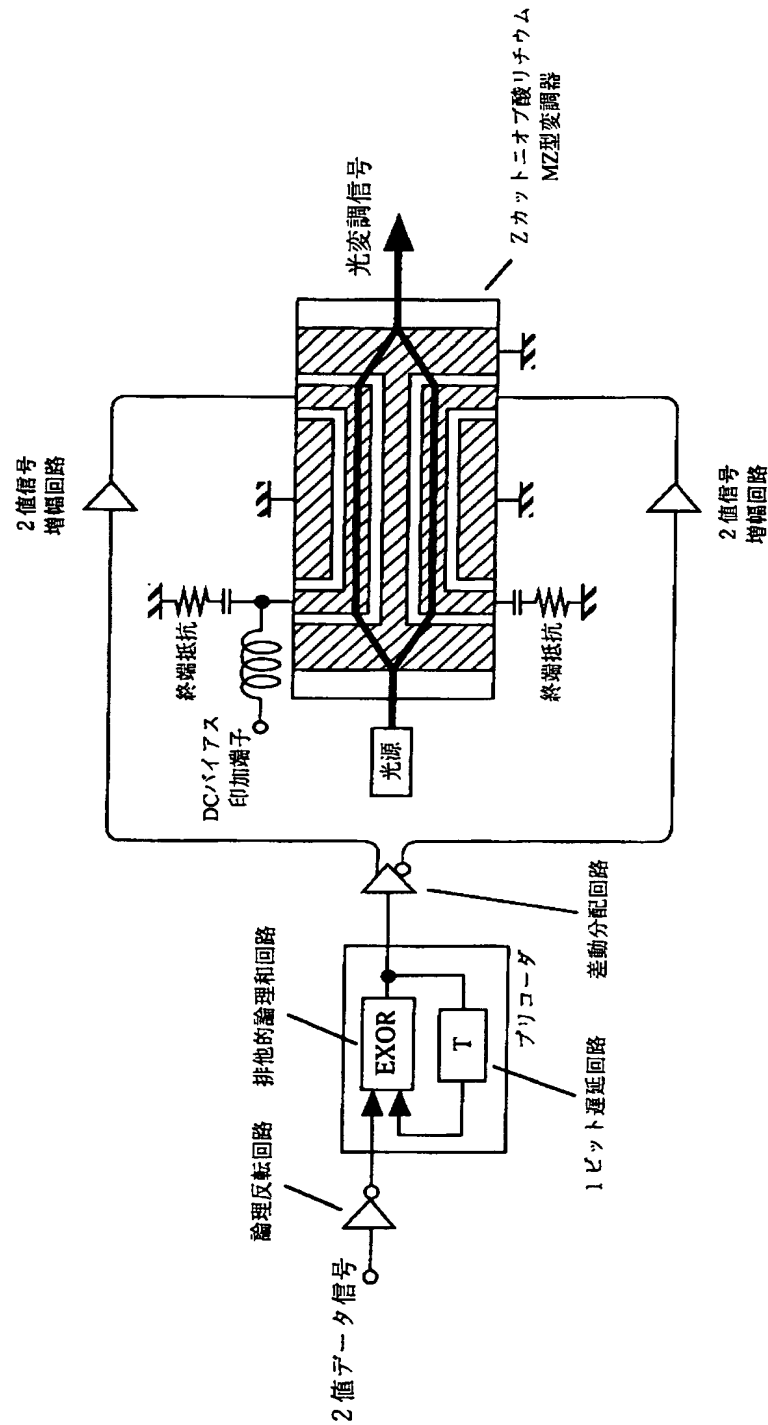
$\tau_d$  : 光波と変調電磁波の相互作用時間 (s)

$c/n$  : 電気光学結晶中の光波の位相速度 (m/s)

$c_m$  : 変調電磁波の位相速度 (m/s)

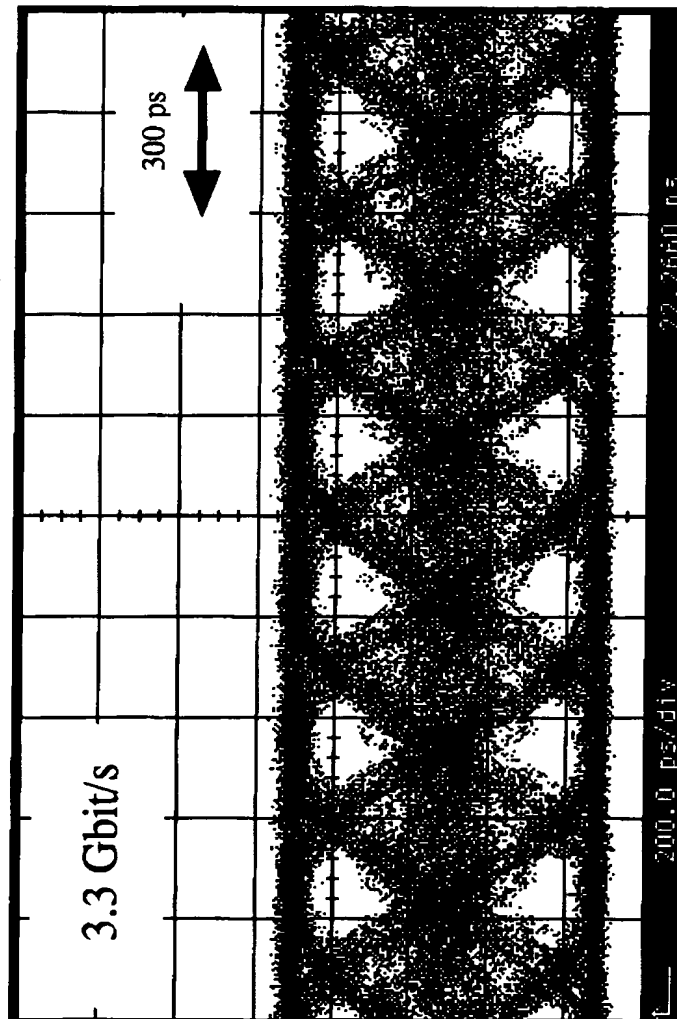


【図 15】



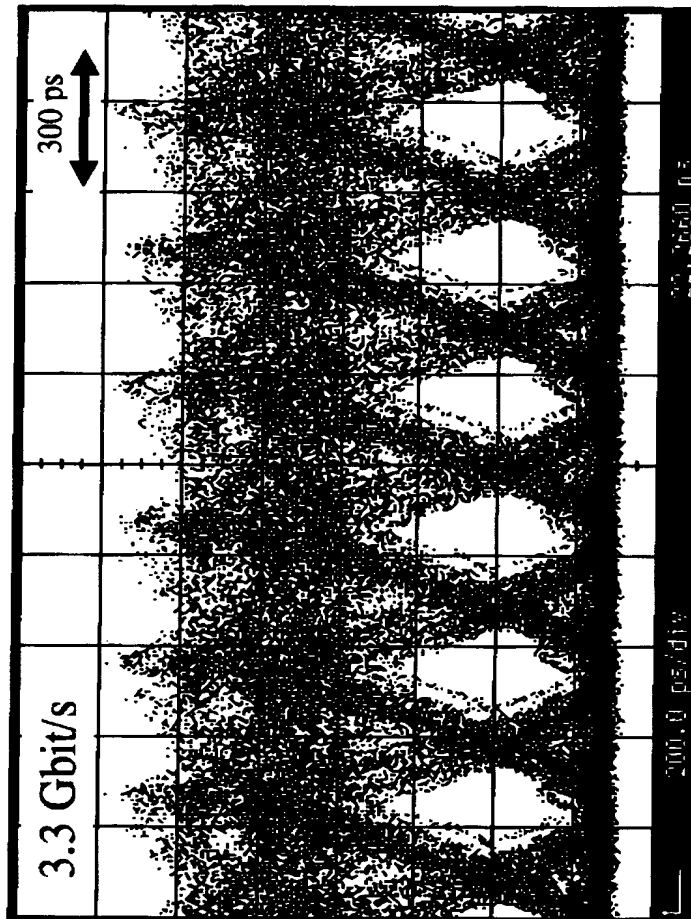


【図 16】



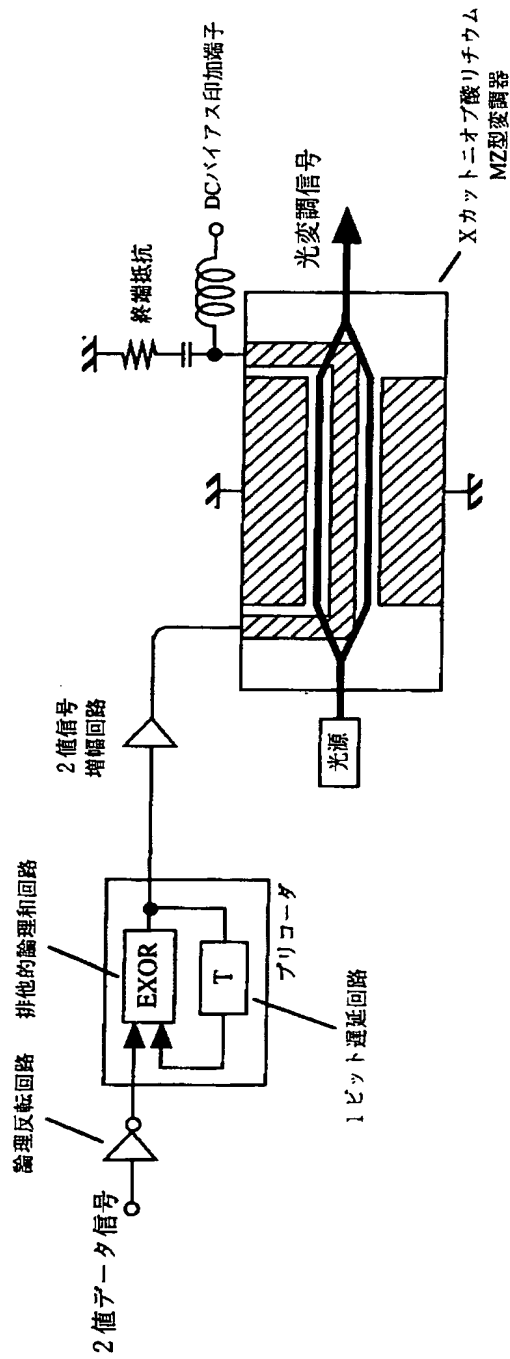
BEST AVAILABLE COPY

【図 17】

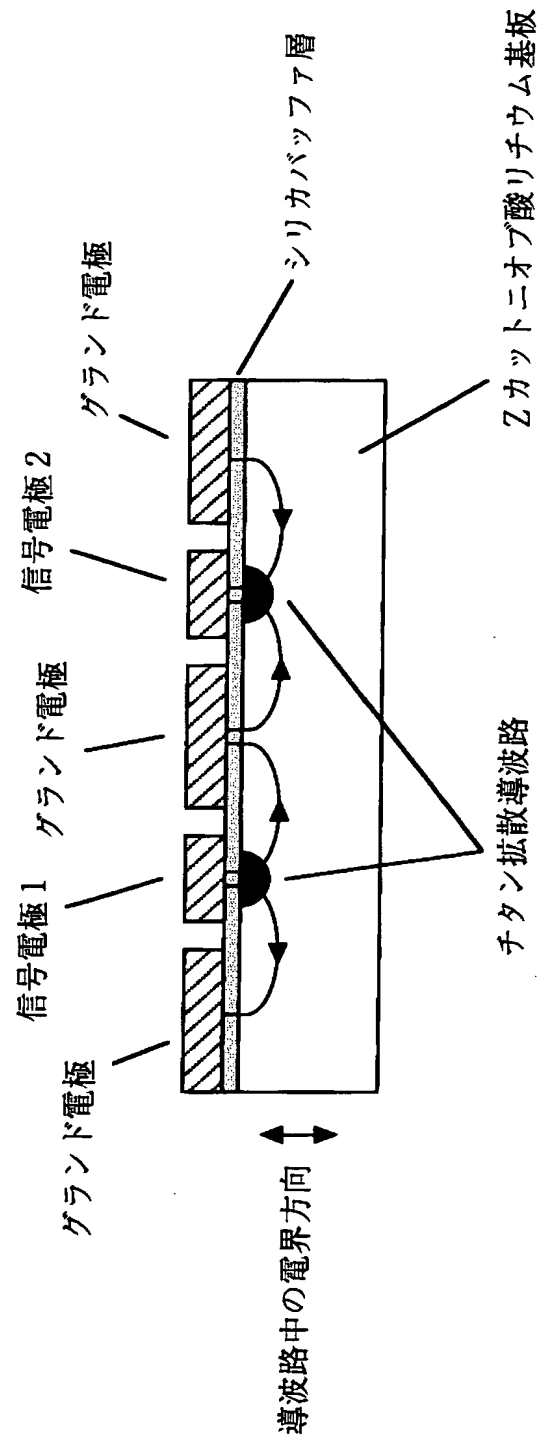


BEST AVAILABLE COPY

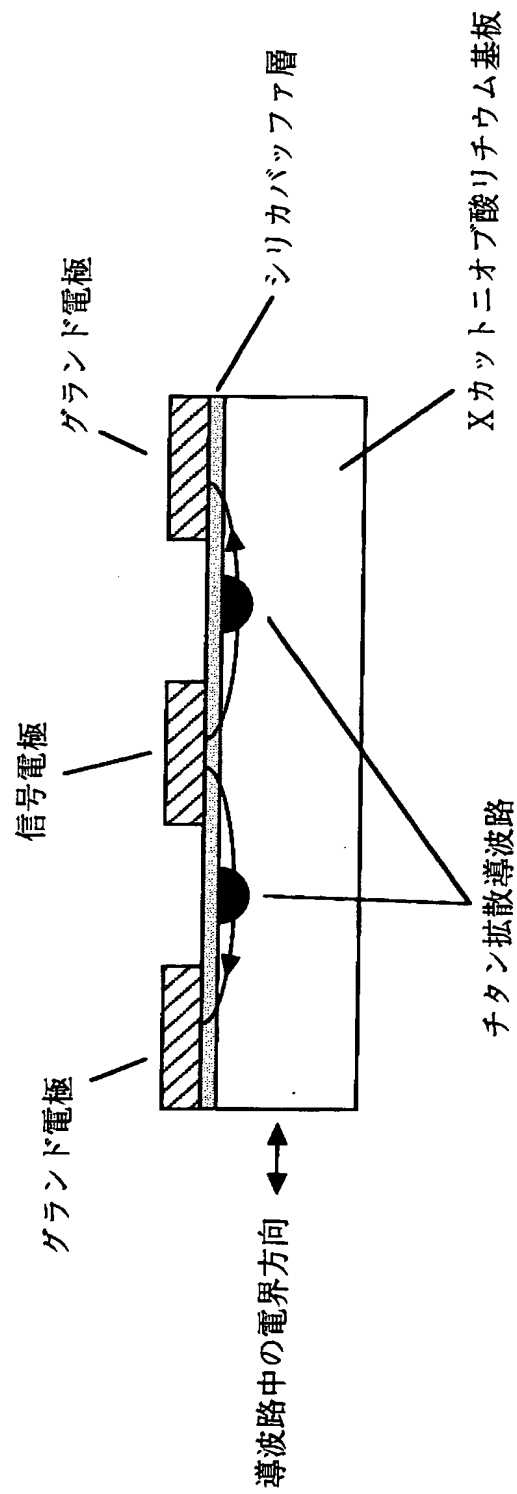
【図 18】



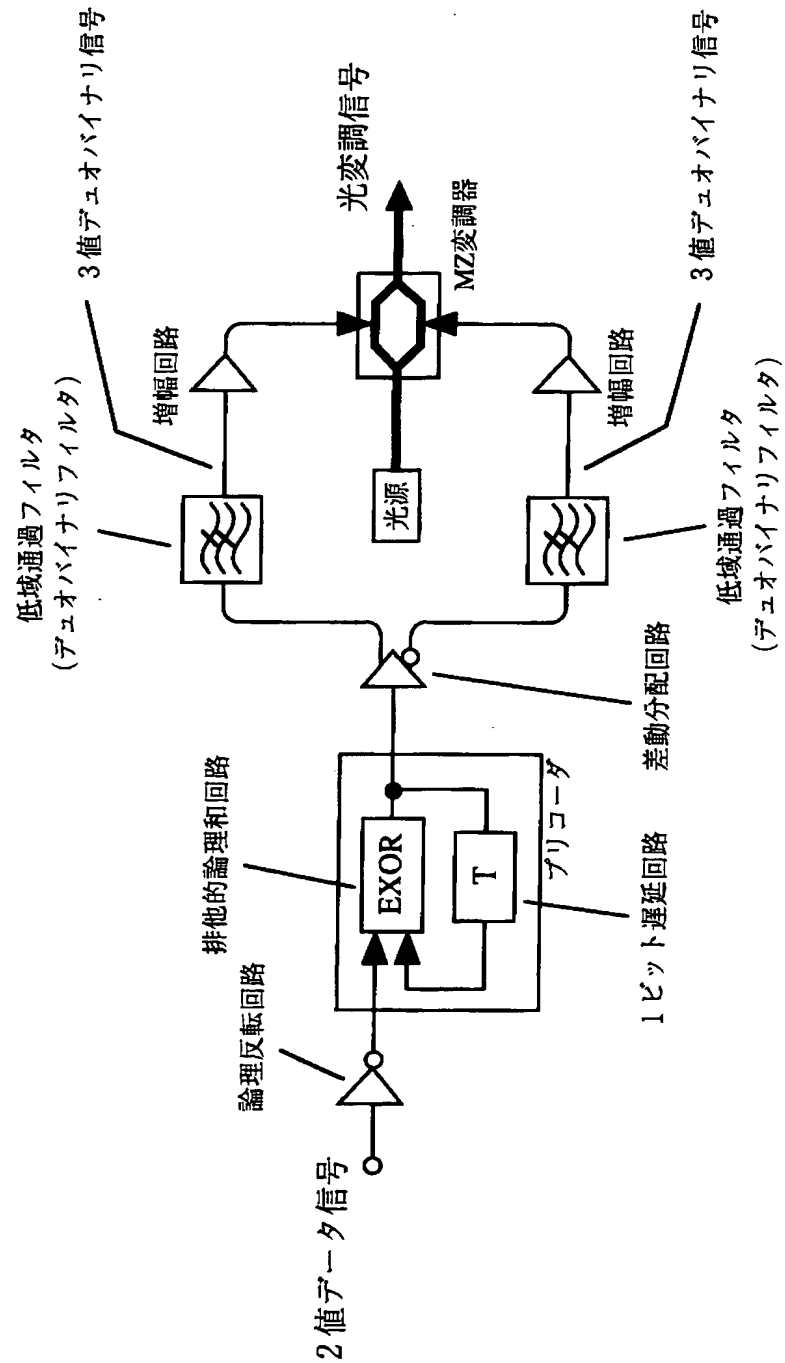
【図 19】



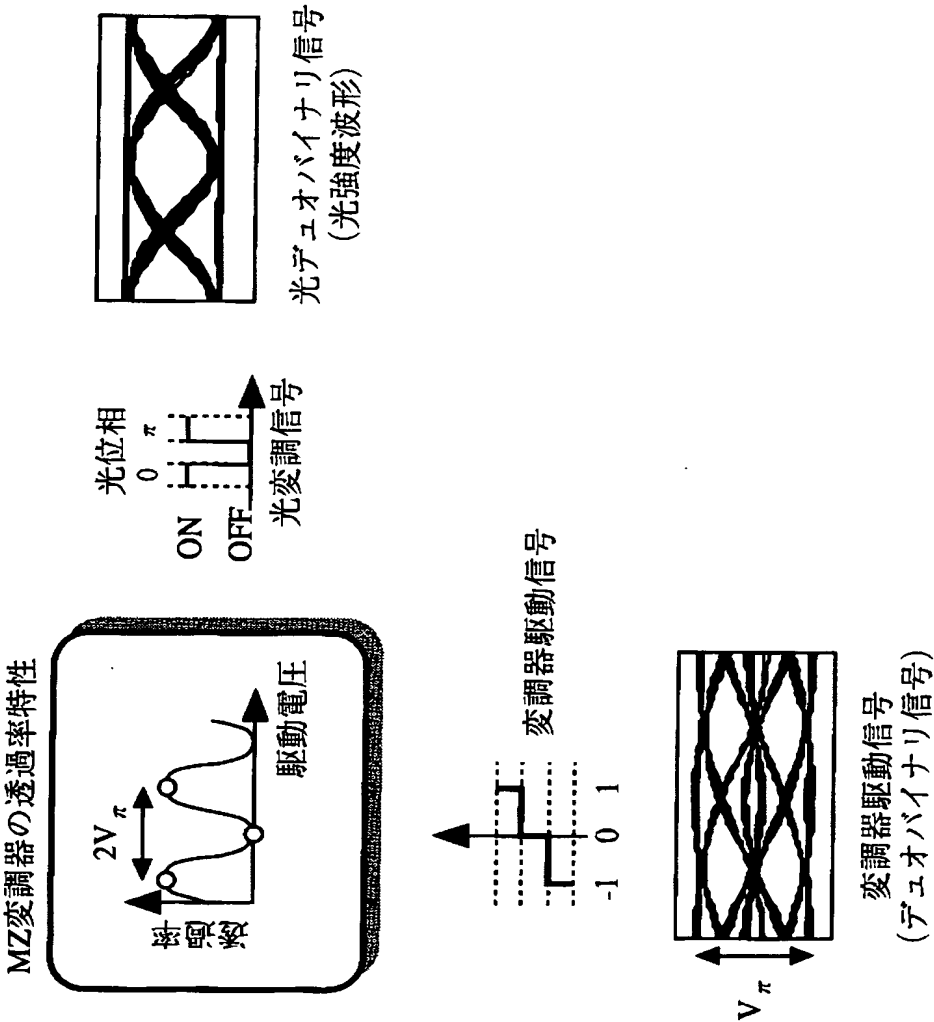
【図 20】



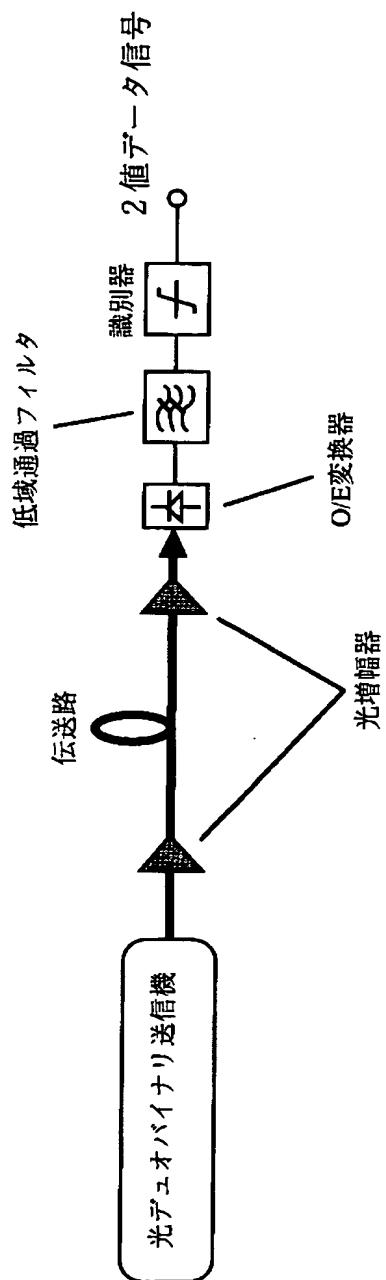
【図21】



【図 2 2】

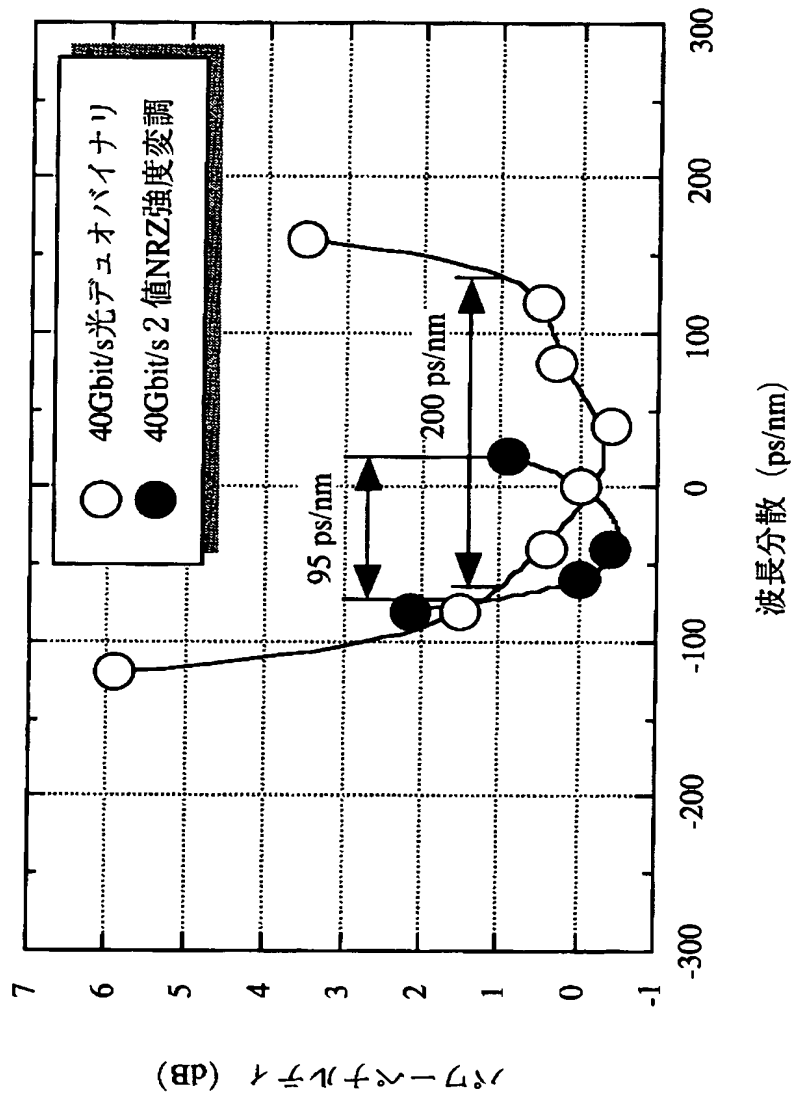


【図 23】

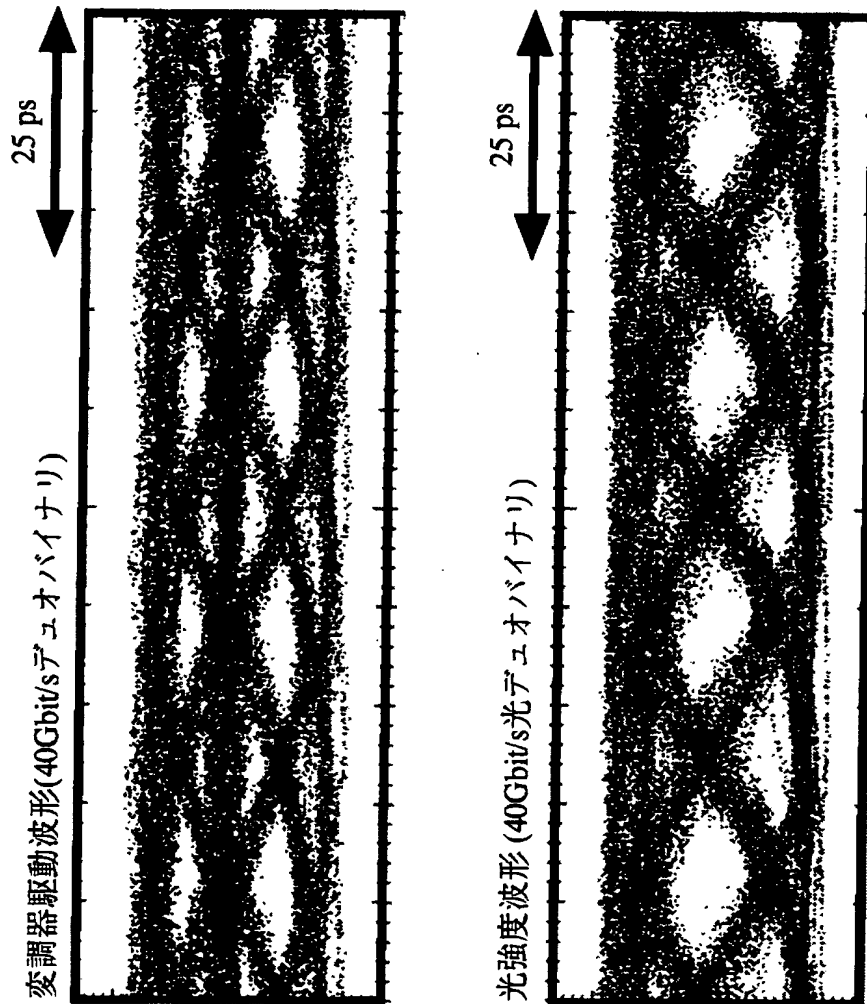




【図 24】



【図 25】



BEST AVAILABLE COPY

出証特 2006-3022148

【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 より理想に近い、帯域制限された光信号を容易に生成することができ、光通信システムの長距離化・大容量化・低コスト化に寄与する光送信機を提供する。

【解決手段】 2値データ電気信号に帯域制限を施す帯域制限手段と、帯域制限された電気信号を光信号に変換する電気／光変換手段と、電気／光変換手段を駆動するために必要な電圧に信号を増幅する増幅手段を備え、帯域制限手段が増幅手段と電気／光変換手段との間に配置される。

【選択図】 図1

特願 2 0 0 0 - 2 6 1 1 1 4

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[ 0 0 0 0 0 4 2 2 6 ]

1. 変更年月日

1 9 9 9 年 7 月 1 5 日

[変更理由]

住所変更

住 所

東京都千代田区大手町二丁目 3 番 1 号

氏 名

日本電信電話株式会社